chinaXiv:202310.00072v1

动态跟踪捕捉技术在 VR 影像中的应用研究

于 杨
（闽南理工学院，福建 石狮 362700）

摘要：【目的】动态跟踪捕捉技术在虚拟三维空间中有着非常重要的作用，如今动态跟踪捕捉技术作为 VR 领域的“钥匙”应用在诸多科学领域当中，文章的核心内容是动态跟踪捕捉技术在不同 VR 影像领域中的应用。【方法】文章以 VR 影像为出发点，讨论研究动态跟踪捕捉技术的分类及其应用的范围，通过研究分析不同动态跟踪捕捉技术所呈现的效果，对不同软件进行测试并分类评价，举例论证动态跟踪捕捉技术在 VR 影像中的应用效果。【结果】随着动态跟踪捕捉技术的迭代升级，人们在影像创作上有了更多发挥的空间，这使得 VR 影像能够更加逼真地呈现在人们的生活场景之中。【结论】通过国内外顶级动作捕捉系统的案例分析，可以看到该行业未来发展前景广阔，伴随人工智能算法算力的不断升级，动态跟踪捕捉技术在 VR 影像中可以产出更多丰富的应用场景。

关键词：动作捕捉技术；虚拟三维空间；VR 影像；影像合成　　**中图分类号：**TP391.9　　**文献标识码：**A
文章编号：1671-0134（2023）05-139-04　　**DOI：**10.19483/j.cnki.11-4653/n.2023.05.032
本文著录格式：于杨 . 动态跟踪捕捉技术在 VR 影像中的应用研究 [J]. 中国传媒科技，2023（05）：139-142.

1. 动态跟踪捕捉技术在影像中的发展历程

动态跟踪捕捉技术就是人们常说的动作捕捉（英文名称为 Motion Capture），是利用外部设备对人体结构的位移进行数据记录和姿态还原的技术。由于采集数据可以广泛应用于虚拟现实（VR）、游戏、人体工程学研究、模拟训练、生物力学研究等诸多学科领域，因此这项技术拥有比较广泛的市场前景和应用价值。动作捕捉实际上是一个比较通用的概念，对捕捉的对象并不限定，除了人和物，也可以是其他生物或者是个体的局部信息。例如电影《哈利波特：消失的密室》《加勒比海盗 2》中所用的捕捉技术，这种利用演员的肌体表演数据“运算”出的虚拟角色的技术，也被称为表演捕捉（Performance Capture）。在许多领域，动作捕捉有时也被称为运动跟踪（Motion Tracking），但在电影制作和游戏开发领域，运动跟踪通常是指运动匹配（Match Moving）。

动作捕捉技术的发源，最早可以追溯到 1915 年，是由动画师马克斯·弗雷斯彻（Max Fleischer）发明的转描技术（Rotoscoping），其制作了一台放映机，原理就是把胶片的内容显示到透光台上，凭借着这台放映机，动画师可以很方便地照着画面中人物的动作造型，来绘制角色动作。[1] 它的代表作就是我们熟知的迪士尼在 1937 年推出的《白雪公主和七个小矮人》。1983 年，思蒙弗雷泽大学的汤姆·卡尔弗特（Tom Calvert）在物理机械捕捉服装技术上取得了重大突破，这一技术让人们见识到了最早的机械式捕捉。同期一套名为“waldo”的脸部和身体捕捉仪在任天堂的 Mario Avatar 中使用，并和展会的群众进行互动，一时间声名大噪。与此同时，麻省理工也推出了一套基于 LED 的“木偶图像化”（Graphical Marionetter）系统，这就是早期光学动作捕捉系统的雏形。直到 1994 年，三维运动轨迹捕捉技术才正式开启商业化之路。

在 20 世纪八九十年代，动作捕捉技术就已经开始活跃在电影行业当中。提到动作捕捉最先想到的就是早期接触动作捕捉的从业者，其中的美国魔神公司（Motion Analysis）成立于 1983 年，为《金刚》《指环王》提供了技术支持。最初，光学动作捕捉只在摄影棚投入使用，演员穿着紧身衣在单调的设置场景里，通过特殊的相机和灯光进行动作捕捉。直到《指环王》这部电影，动作捕捉从摄影棚被带到了拍摄现场，动作捕捉演员的先驱安迪瑟金斯化身为咕噜和其他演员进行互动，从而通过演员动态捕捉还原片中人物动作的真实性，进而完成影片的合成制作。威廉（Vicon）则是参与过《泰坦尼克号》《阿凡达》等影片的制作，使其成为好莱坞业界专业性认可的新里程碑。威廉让 3D 影像重返主流市场、动作捕捉技术特效的视觉化处理，也让《阿凡达》拿下包括最佳摄影、最佳视效、最佳艺术指导三项奥斯卡大奖。

基金项目：本文系福建省中青年教师教育科研项目（JAT220431）；福建省教育系统哲学社会科学研究项目（JAS22183）。

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202310.00072v1

2. 动态跟踪捕捉技术的分类与应用程序

动态跟踪捕捉技术从实质上来讲就是测量、跟踪并记录物体在三维空间中的运动轨迹，需要传感器、信号捕捉设备、数据传输设备和数据处理设备的组合才能够完成。[2] 现阶段动态跟踪捕捉方式有机械式动作捕捉、声学动作捕捉、电磁式动作捕捉、光学动作捕捉、惯性动作捕捉五类。随着动态跟踪捕捉技术一步步地成熟，其应用范围也日益广泛，比如：人机交互、虚拟现实（VR）、动画制作、影视制作、互动游戏制作、机器人遥控、体育训练分析和医疗康复等领域。不同类别的动态跟踪捕捉技术有各自的优缺点，如今最常见的两种动态跟踪捕捉技术就是光学动作捕捉和惯性动作捕捉。

光学动作捕捉是通过对目标物体上特定光点的监视和跟踪来完成动态跟踪捕捉的任务，捕捉技术是基于动作表演者的活动范围而言，没有电缆和机械装置的限制，被跟踪物体可以自由变换形态，当然该项技术的采样速率也相对较高，可以满足多数高速运动测量的需要，采样的 Marker 点数量可根据实际应用添加，便于动作捕捉系统的扩充。[3] 但该套系统的价格也相对昂贵，它虽然可以捕捉实时运动，但后期处理（包括 Marker 的识别、跟踪、空间坐标的计算）的工作量较大，尤其是当捕捉多目标时，目标间若产生遮挡，将会影响捕捉系统精度，甚至会丢失捕捉目标，后期还需要软件进行数据调节来完成正确的捕捉内容识别。基于 Marker 的光学动作捕捉系统所采集的信号量大、空间解算算法复杂，其实时性与数据处理单元的运算速度，完全和解算的算法复杂度相关联，因此光学动作捕捉技术更适合用于科研类项目和大成本制作。[4] 如 2009 年的《阿凡达》、2011 年的《猩球崛起》等影片，就是运用了光学动作捕捉技术来完成制作的。《阿凡达》的录制不但采用光学捕捉技术，还结合了实景拍摄及 Simulcam 系统完成制作，根据关节跟踪点还原人物最真实的动态，虽然成本高但稳定性能较好，而且最后完成的效果足以让人震撼。2022 年上映的《阿凡达 2：水之道》也同样是运用了光学动作捕捉技术，并完成了水下的动作捕捉，对于光学动作捕捉来说，需要杜绝外来的不稳定光源，反射力较强的物体和任何可能造成感应器干扰的问题，而水下的动作捕捉恰恰加大了动作捕捉的难度，导演詹姆斯・卡梅隆利用工业科技的成果，将整部影片的视听效果推向极致，尽其所能把几乎接近真实的海底生态、洋流动态模拟还原出来，超真实地展现虚拟人物中每一个精细的面目表情。[5] 光学动作捕捉包括微软公司的 Kinect 动作捕捉技术和面向 PC 以及 Mac 的 Leap Motion 手势识别技术与控制器，都是运用了基于图像识别的光学动作捕捉技术。

惯性动作捕捉则是根据反向运动学原理测算出人体关节的位置，并将数据施加到相应的模型骨骼上，通过惯性导航传感器 AHRS（航姿参考系统）、IMU（惯性测量单元）测量被跟踪物体的运动加速度、方位、倾斜角等特性。惯性动作捕捉需要各类无线控件、电池组、传感器等配件，类似一个整套衣服穿在身上，通过各个部位的传感器来捕捉人体或物体的运动数据。惯性动作捕捉与光学动作捕捉相比，惯性动作捕捉对场地和空间的限制更小，能够在较大的空间范围进行移动，可以到室外进行实景拍摄，并且不受光照、背景等外界环境的限制。由于物理惯性传感器和连接线的外壳具有温度补偿和防水的特性，更适合在水下、雨中或冷热气候这一类特殊的环境下使用，只要是有生物的地方，运动捕捉服都可以正常使用，其成本也低于光学动作捕捉设备，但该技术会受到磁场、测量噪声和游走误差等因素的影响，导致捕捉数据受到影响，后期分析制作不够精密，并且惯性传感器也无法长时间地对人体姿态进行持续性精确跟踪。

动态跟踪捕捉技术在影视、动画、游戏制作等方面应用的案例越来越多。例如《赛博朋克 2077》的创作，由穿着动作捕捉服的基努・李维斯出演，动作捕捉设备记录每一段人物的动作，反馈给建模软件中所对应的人物模型，方便 3D 动画的制作，极大地提高了动画制作的效率，使动画制作过程更为直观，效果更加生动，最大程度地还原影像带给受众的真实感。[6] 这些虚拟现实的效果离不开 3D 软件的帮衬，Motion Builder 软件就是一款优秀的 3D 角色动画制作软件，该软件利用实时角色为中心的工具集合，使该软件为技术指导和艺术家们提供了处理最为苛刻的高容量动画的可能。这款软件中的 Actor 工具使用了 Python 脚本语言，通过自动设置动作捕捉数据并且将其传输至虚拟角色，可以帮助用户节省更多的时间成本。而这项动态跟踪捕捉技术也不只局限于三维平台，例如 Lockdown 技术是一款具有革命性的动态捕捉插件，可以直接对运动物体扭曲不平的表面进行跟踪，添加能够删除自定义的 UV 坐标、用于透视变形的 UI 控件和新的点插值，可以更好地处理被跟踪物体的旋转，且操作简单，能够广泛应用于后期合成制作。比如美容修饰、物体的移除清理，以及影视跟踪合成特效制作。现如今动态跟踪捕捉技术已经初步实现了无 Marker 技术，但其误差相对于 Marker 技术更大，所以应用范围并不广泛。[7] 在未来随着科学技术的发展，如果能够解决 Marker 的误差问题，那么可以更好地解决 Marker 技术的缺陷。应用软件在算法上的升级，会使动作捕

chinaXiv:202310.00072v1

捉所需要的反馈时间缩短。在未来，更加智能化的 AI 修复和模型处理算力的升级，必将会成为动作捕捉技术的核心竞争力之一。

3. 动态跟踪捕捉技术在 VR 影像中的应用

动态跟踪捕捉技术毫无疑问地成了一把开启 VR 产业大门至关重要的隐形钥匙，可以帮助提升 VR 影像世界里沉浸式的体验感，让虚拟现实完成全面互动。自 1989 年以来，Qualisys 就成为全球首选的动态跟踪捕捉技术，也是行业之中十分精确和易于使用的 VR 追踪系统之一。Qualisys 系统是市场上可见的低延迟、较流畅的动作捕捉系统，也是一款比较简单直观、好操作的软件系统。Qualisys 系统与 Unity 和 Unreal 软件经过反复测试，能提供即插即用的 VR 解决方案，远离复杂的自定义模式。伴随着 9DVR 体验馆的建立，对影视娱乐市场有着巨大影响，体验馆内的设施可以让观影者体会到仿佛置身于真实场景之中，让体验者沉浸于影片所创造的虚拟环境中。然而，当下绝大部分的 VR 体验项目还只是停留在让体验者戴着 VR 眼镜看视频，或者是让体验者手握着仅可以进行简单的方向和按钮操作的手柄，待在某一个可以抖动的设备上。想要获得完全的沉浸感，并真正地融入虚拟世界中，动态跟踪捕捉技术的研发就是重要的环节之一。

伴随着算法的持续迭代升级，动态跟踪捕捉技术结合虚拟现实技术在游戏领域中得到了迅猛发展，如今已经应用在互动式游戏、虚拟 3D 形象演出或直播等 VR 影像中。利用 VR 头显（VR 眼镜）带动场景、视角的切换，与场景中的物体进行互动。像任天堂 LABO VR 套件互动游戏，就是利用动态跟踪捕捉技术，捕捉游戏者的动作操作，用以驱动游戏环境中的角色动作，使得游戏过程在保持实时性、交互性的同时也大幅提升了游戏的真实感，给游戏玩家一种全新的体验，多少有点《头号玩家》中展现的体验感受。[8] 还有位于荷兰阿姆斯特丹的 VR Arcade 总部，是欧洲第一家自由漫步式 VR 游戏中心，能够同时满足多人、多角色进行 VR 游戏。VR Arcade 结合动作捕捉在内的多种技术建立起一个与众不同的 VR 体验中心，此公司正是通过运用 Qualisys 动作捕捉系统追踪游戏者的动作和位置，同时能与 Unity3D 即插即用，在不构建复杂的自定义系统的情况下进行工作，将他们置于虚拟环境中，并且游戏者可以在一个超大空间中尽情享受自由行走所带来的体验乐趣。[9] 再比如，有结合三维动态跟踪捕捉技术的 VR 碰碰车 “Steampumk VR Scooter”，将游戏者带入狂野的西部风格场景，开着虚拟的复古或未来主义风格的蒸汽机车相互碰撞、战斗。

动态跟踪捕捉技术在 VR 影像中的应用不仅仅是影音娱乐方面，还有科研方面的应用。[10] 比如，由弗吉尼亚理工大学的创新、艺术和技术研究院（ICAT）所建设的巨型 VR 实验室 Cube，由 ICAT 和莫斯艺术中心共享，是一个目前最先进的剧院和高科技实验室，耗资 1500 万美元打造而成，该实验室集合动态跟踪捕捉技术、24 台亚毫米级精度 Qualisys Oqus500+ 镜头于一体，可以实时记录或传输物体和人的移动，包括面目表情和行为互动，实现生物力学追踪和角色仿生，让使用者在虚拟环境中活动自如。[11] 这个巨型 VR 实验室可以应用于实时交互研究；虚拟与真实世界的研究；人体性能的建模研究；分布式游戏和社交环境研究；虚拟建筑和环境的多人“漫步”研究；各种规模虚拟环境的教育和培训研究；多屏幕多扬声系统的艺术装置或艺术效果研究；以及抽象数据的交互行为研究，其研究范围包括生物信息学、社交网络、交通、安全、生物和兽医等多学科和跨学科领域。

国内也有两家公司做得到了真正自主研发动态跟踪捕捉技术的服务商，分别是度量 NOKOV 的三维光学动作捕捉系统和诺亦腾（Perception Neuron-3D 运动测量与动作捕捉技术）的惯性动作捕捉系统。[12] 度量 NOKOV 已经与苏州市广播电视总台、中国科学技术大学、广州体育学院、北京理工大学等多家单位进行技术应用的合作并制作出许多经典案例，比如虚拟人直播、运动技术分析、大空间虚拟现实交互等。虽然与国际先进的动态跟踪捕捉技术相比，我们还存在一定的差距，但随着国内厂商对动作捕捉系统自主研发的持续投入，中国的动态跟踪捕捉技术也会奋起直追，技术能够应用的平台也将会越来越广泛。

结语

为实现人与虚拟环境及系统的交互性，必须确定参与者的头部、手、身体等的位置与方向，准确地跟踪测量参与者的动作，将这些动作实时检测出来再根据数据反馈给显示和控制系统。这些工作对虚拟现实系统是必不可少的，这也正是动态跟踪捕捉技术的主要研究内容。通过对不同动作捕捉系统的测试显示数据研究表明，目前光学动作捕捉、惯性动作捕捉，以及 VR 数据手套能够满足当下的市场需求。文章对动态跟踪捕捉技术的理论研究，以及大数据的汇总分析，分类汇总了主流动作捕捉系统的优缺点及应用范围。通过不同维度的软件预设数据找到匹配模型来完成创作任务、优选匹配软件，通过国内外顶级动作捕捉系统的案例，阐述动态跟踪捕捉技术在 VR 影像中的应用，可以看到该行业未来发展前景广阔，但由于目前 VR 设备不能有效普及民众，因此也带有一定的推广局限性。

从动态跟踪捕捉技术在影视制作工作流程中的使

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202310.00072v1

用来看，从最初的几秒镜头，到现在几乎是一整部作品都离不开动作捕捉技术，影像未来的发展俨然已经与动作捕捉技术密不可分，动态跟踪捕捉技术也是当下的影像创作者们不断尝试与探索的技术领域。通过技术与数据的逐渐完善可以达到“以假乱真”的效果，还有更多不断开发的软件来适配动态跟踪捕捉技术，让捕捉数据的转换更加准确、便捷。相信今后还会出现更先进的动作捕捉系统来满足不同领域的应用，实现更加优化的呈现效果和使用体验。随着社会生产力和科学技术水平的不断推进，各行各业对 VR 技术的需求与日俱增，VR 技术也不断地迅猛发展，并逐渐成为一个新兴的科学技术领域。人们未来的生活趋势也将会更多地在虚拟与现实之间来回切换，科幻影片中的故事情节很有可能在人们未来的生活中发生，VR 技术必将在这个领域发挥至关重要的作用，所以动态跟踪捕捉技术的不断发展与创新，是 VR 产业发展的重要基石。在未来不断迭代的算法、算力和人工智能技术的加持下，动态跟踪捕捉技术在 VR 影像中的应用一定会大放异彩。

参考文献

[1] 李玉铭，朱婧 . 基于 VR 技术的多视觉动画角色模型展示系统设计 [J]. 现代电子技术，2020（20）：164-167.

[2] 白坚 . 影像合成连贯性、特效电影中图像、空间信号以及感官现实的合成 [J]. 北京电影学院学报，2008（5）：81-87.

[3] 秦菊 .VR 技术与数字媒体技术的结合及应用 [J]. 电视技术，2022（9）：156-158.

[4] 邱国桥，廖洪辉 . 基于数字化动画艺术的动态捕捉技术研究 [J]. 中国报业，2012（12）：42-43.

[5] 丁钟，田义贵 . 论 VR 技术对电影生态的冲击与构建——以文化公平为视角 [J]. 当代电影，2017（12）：57-60.

[6] 周建 . 基于 VR 拍摄技术的野生动物纪实类影像创作 [J]. 现代电视技术，2020（11）：95-98.

[7] 周月洋 .AE 运动跟踪在影视后期中的介绍及应用 [J]. 电脑迷，2017（3）：113.

[8] 苏米尔 . 交互・镜语・复眼：VR 影像媒介语言的全息融合 [J]. 现代传播（中国传媒大学学报），2022（6）：158-164.

[9] 孙冬 . 基于无人机控制和最优视图视选择的动作捕捉方法 [J]. 传感器与微系统，2021（10）：51-55.

[10] 杨鹏岳 . 动作捕捉技术让虚拟和现实共舞 [N]. 中国电子报，2021-10-22（007）.

[11] 刘进 . 影像合成运动镜头中的轨迹同步技术 [A]. 中国电影电视技术学会 .2009 中国电影电视技术学会影视技术文集 [C]. 中国电影电视技术学会，2010：7.

[12] Sacco Pier Luigi，Teti Emanuele. Maintaining content innovation in an industry with unpredictable returns：a portfolio approach to movie production[J]. Economics of Innovation and New Technology，2021（8）：767-785.

作者简介：于杨（1987-），女，黑龙江哈尔滨，闽南理工学院讲师，研究方向为数字媒体艺术。

（责任编辑：张晓婧）

（上接第30页）

究 [J]. 情报科学，2011（5）：706-712.

[8] 王贤文，刘趁，毛文莉 . 数字出版时代的科学论文综合评价研究 [J]. 中国科技期刊研究，2014（11）：1391-1396.

[9] 林德明，姜磊 . 科技论文评价体系研究 [J]. 科学与科学技术管理，2012（10）：11-17.

[10] 白如江，杨京，王效岳 . 单篇学术论文评价研究现状与发展趋势 [J]. 情报理论与实践，2015（11）：11-17.

[11] 齐世杰，郑军卫 . 科技论文定量评价方法研究进展 [J]. 情报理论与实践，2017（10）：140-144.

[12]CHO S R. New evaluation indexes for articles and authors' academic achievements based on open access resources[J].Scientometrics，2008（1）：91-112.

[13] 高锡荣，杨娜 . 基于社会网络分析方法的论文评价指标体系构建 [J]. 情报科学，2017（4）：97-102.

[14] 杜秀杰，葛赵青，卓选鹏，等 . 数字出版时代学术论文的互动评价探索 [J]. 编辑学报，2014（1）：10-12.

[15]PRIEM J，HEMMINGER B H. Scientometrics 2. 0：new metrics of scholarly impact on the social web[J]. First Monday，2010（7）.

[16]PIWOWAR H. Altmetrics：value all research products[J]. Nature，2013（7431）：159-159.

[17] 张静 . 引文、引文分析与学术论文评价 [J]. 社会科学管理与评论，2008（1）：33-38.

作者简介：庞颖（1970-），女，河南卫辉，技术编辑，研究方向为期刊质量及影响力研究；乔冬梅（1978-），女，内蒙古包头，研究员，研究方向为期刊发展。

（责任编辑：张晓婧）